

Estimasi *Moment Tensor* dan Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Utara Periode 2012-2014

Lilis Eka Rachmawati dan Bagus Jaya Santosa
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstrak—Penelitian ini mengestimasi tentang pola bidang patahan yang didapat dari *focal mechanism* gempa dan *momen tensor* pada tiap event di Sumatera Utara pada periode 2012-2014. Hal ini dikarenakan Sumatera Utara berada pada zona subduksi antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia yang mana terjadi penunjaman Lempeng Eurasia dibawah Indo-Australia. Untuk mendapatkan besar *momen tensor* dan *focal mechanism*-nya memakai program ISOLA-GUI dengan menghitung Fungsi Green dan melakukan proses inversi untuk mendapatkan momen tensor dan focal mechanism gempa. Bentuk focal mechanism ditunjukkan dalam bentuk solusi *moment tensor* yang lebih dikenal dengan bentuk *beach ball*. Dari hasil perhitungan *focal mechanism* ditentukan bidang patahan dan besar slip dari sesar. Data yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai magnituda lebih dari sama dengan 5,6 Skala Richter. Pola bidang sesar yang terbentuk adalah dip-slip jenis vertical dan *reverse fault* di zona subduksi dan *strike slip* di sekitar patahan Sumatra. Dengan besar rentang *momen tensor* untuk masing-masing komponennya sebesar $M_{11} = 2.08 \exp 17$ sampai $1.3 \exp 18$, $M_{22} = 1.28 \exp 17$ sampai $1.31 \exp 18$, $M_{33} = 6.4 \exp 16$ sampai $6.58 \exp 17$, $M_{31} = 8.45 \exp 16$ sampai $7.14 \exp 18$, $M_{32} = 5.7 \exp 16$ sampai $7.405 \exp 18$, dan $M_{12} = 9.79 \exp 16$ sampai $1.045 \exp 18$. Sedangkan untuk besar slip dari event gempa di Sumatera Utara event 01-05-2014 menghasilkan slip sebesar 0,05 m. Event 01-12-2013 menghasilkan slip sebesar 0,22 m. Event 02-07-2013 menghasilkan slip sebesar 0,30 m. Event pada 21-01-2013 menghasilkan slip sebesar 0,26 m. Event pada 10-01-2013 menghasilkan slip sebesar 0,04 m. Event pada 25-07-2012 menghasilkan slip sebesar 0,35 m.

Kata Kunci—*momen tensor, dip-slip, focal mechanism, reverse fault, strike slip.*

I. PENDAHULUAN

PULAU Sumatra merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang cukup unik dengan kondisi geologinya. Pulau Sumatra tersusun atas dua bagian utama, sebelah barat didominasi oleh keberadaan lempeng samudra, sedangkan sebelah timur didominasi oleh keberadaan lempeng benua. Berdasarkan gaya gravitasi, magnetisme dan seismik

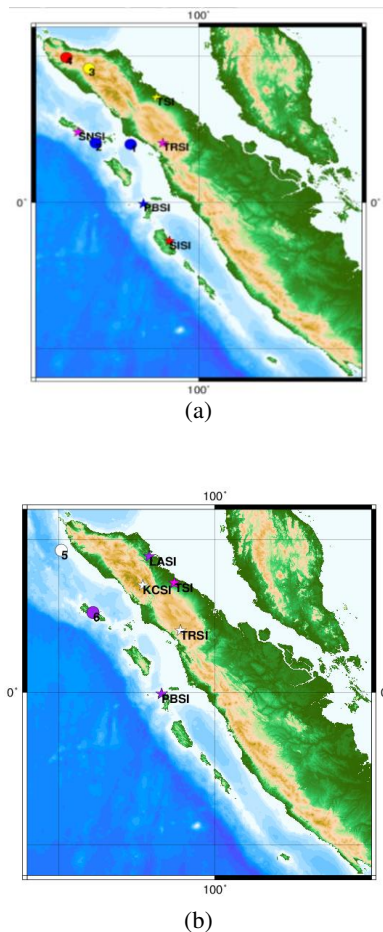
ketebalan sekitar 20 kilometer, dan ketebalan lempeng benua sekitar 40 kilometer ^[1]. Selain menjadi pulau terbesar keenam di dunia, Sumatra memiliki kondisi geologi yang unik. Kondisi geologi yang begitu unik disebabkan letaknya yang berada pada daerah tumbukan dua lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan dan Lempeng Eurasia dibagian utara yang ditandai dengan terdapatnya pusat-pusat gerakan tektonik di Kepulauan Mentawai dan sekitarnya. Sejarah pulau Sumatra berhubungan erat dengan dimulainya peristiwa pertumbukan antara lempeng India-Australia dan Asia Tenggara sekitar 45,6 juta tahun yang lalu. Gerakan Lempeng Indo-Australia yang semula mempunyai kecepatan 86 milimeter/tahun menurun menjadi 40 milimeter/tahun karena terjadi proses tumbukan tersebut ^[2].

Akibat dari aktivitas tektonik yang banyak, diperlukan sebuah analisa pola pergeseran dari tumbukan antar lempeng pada zona subduksi dan pergeseran dari sesar yang membentang dari Sumatra Utara sampai Sumatra Selatan yang dinamakan SFZ (*Sumatran Fault Zone*) ^[3]. Dengan adanya gempa di wilayah Sumatra Utara dapat dilakukan analisa pola bidang sesarnya yang nantinya akan mempermudah dalam mengetahui pola geometri dari patahan yang ada di zona subduksi yang dihasilkan dari gesekan antar Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia maupun sesar aktif dari *Sumatra Fault Zone*.

Oleh karena itu, untuk mengetahui pola bidang sesarnya ditentukan dari *focal mechanism* yang didapat dari penentuan momen tensor dari bidang sesar akibat gempa yang terjadi serta besar *slip* dari sesar. Dalam hal ini akan digunakan informasi data gempa yang terjadi di wilayah Sumatra Utara pada tahun 2012-2014.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengambilan Data



Gambar 1. Lokasi Stasiun dan *Event* (a). 01-05-2014, 01-12-2013, 02-07-2013, dan 21-01-2013 (b). 10-01-2013 dan 25-07-2012. Warna yang sama menunjukkan penggunaan *event* dan stasiun yang dipakai, sedangkan warna merah muda menunjukkan stasiun yang digunakan untuk semua *event* pada gambar (GMT)

Data yang digunakan adalah data *event* gempa yang terjadi di Sumatra Utara pada tahun 2012-2014 dengan magnitudo lebih dari sama dengan 5,6 SR. Data tersebut didapatkan dari www.webdc.eu, website dari GFZ yang menyediakan data gempa lokal.

B. Pengolahan Data

Data yang didapatkan dari GFZ dalam format *seed*. Dirubah kedalam format *SAC* yang akan digunakan dalam program ISOLA-GUI untuk menentukan *momen tensor* dan *focal mechanism*.

C. Perhitungan Slip

Hank dan Kanamori (1979) melakukan perhitungan momen seismik dilakukan untuk menghitung besarnya energi yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi di dalam *slip* di sepanjang sesar dan luas permukaan sesar yang mengalami *slip* ^[4].

$$M_o = \mu \cdot A \cdot D \quad (1)$$

dimana :

M_o = momen seismik gempa (Nm),

μ = rigiditas

A = luas bidang sesar (m^2)

D = deformasi / dislokasi (m)

Kalkulasi hubungan antara magnitudo gempa dengan momen seismik ^[5],

$$\text{Log } M_o = 1,6 M_w + 16,1 \quad (2)$$

Dengan M_w menyatakan besar magnitudo gempa.

Secara empiris panjang, lebar, dan *slip fault* dapat ditentukan dengan melakukan interpolasi berdasarkan persamaan persamaan sebagai berikut ^[6].

1. Perhitungan *Strike-slip Fault*

a. Panjang sesar (L)

$$\text{Log } L = 0,59M - 2,30 \quad (3)$$

b. Lebar sesar (W)

$$\text{Log } W = 0,23M - 0,49 \quad (4)$$

c. Luas sesar (S)

$$\text{Log } S = 0,82M - 2,79 \quad (5)$$

2. Perhitungan *Dip-slip Fault*

a. Panjang sesar (L)

$$\text{Log } L = 0,55M - 2,19 \quad (6)$$

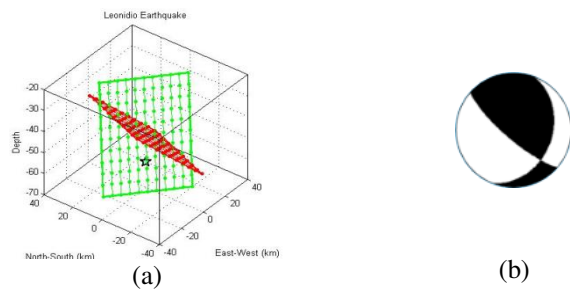
b. Lebar sesar (W)

$$\text{Log } W = 0,31M - 0,63 \quad (7)$$

c. Luas sesar (S)

$$\text{Log } S = 0,86M - 2,82 \quad (8)$$

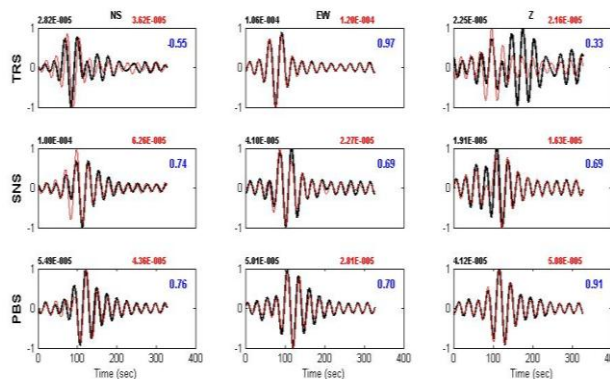
dimana L merupakan panjang slip (m), W merupakan lebar slip (m), dan S merupakan luas slip (km^2).



Gambar 2. (a) Orientasi bidang patahan (hijau). (b) Bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar, *reverse fault*. untuk gempa tanggal 01/05/2014.

Tabel 1.
Bidang Sesar dan *Auxiliary Plane* untuk Tiap *Event*

Event	Plane I			Plane II		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
01-05 2014	131	77	59	21	33	155
01-12-2013	234	3	8	136	90	93
02-07-2013	297	80	-154	202	64	-11
21-01-2013	122	82	-165	30	75	-9
10-01-2013	298	35	84	126	55	94
25-07-2012	136	88	90	226	2	0



Gambar 3. Hasil *fitting* kurva *displacement* dari data *event* gempa tanggal 01/05/2014 pukul 14:35:40 WIB (ISOLA-GUI)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Besar momen tensor dari masing-masing event gempa sebagai berikut,

Tabel 2.
Momen Tensor untuk Gempa Sumatera Utara

Event	$M_{rr}=M_{33}$	$M_{tt}=M_{11}$	$M_{pp}=M_{22}$	$M_{rt}=M_{31}$	$M_{rp}=M_{32}$	$M_{tp}=M_{12}$	exp
01-05 2014	3,078	2,076	-5,154	5,479	-2,901	1,501	17
01-12-2013	0,157	-0,304	0,146	2,605	-2,702	-0,108	18
02-07-2013	0,064	-1,297	1,233	1,083	0,149	-1,045	18
21-01-2013	-0,268	-1,041	1,309	-0,324	0,057	-0,643	18
10-01-2013	3,581	-2,298	-1,283	0,845	-0,867	0,979	17
25-07-2012	0,658	-0,34	-0,318	7,135	-7,405	0,25	18

B. Pembahasan

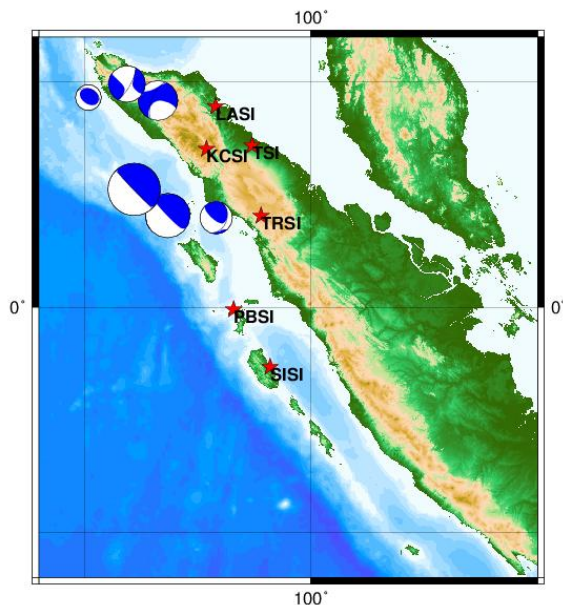
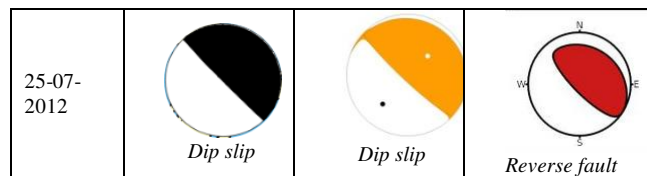
Kurva pada gambar 3 terlihat ada dua garis warna, yaitu warna merah dan hitam. Garis yang berwarna merah merupakan kurva estimasi dari Fungsi Green, sedangkan kurva yang berwarna hitam merupakan kurva dari data observasi seismogram. Besar kecocokan kurva ditentukan oleh varian reduksi [7]. Apabila nilai variasi reduksi mendekati angka 1 menunjukkan bahwa kurva hasil *fitting* semakin cocok.

Dari masing-masing *event* gempa varian reduksinya berkisar mulai dari 0.78, 0.85, 0.86, 0.83, 0.6, 0.63. Berdasarkan nilai-nilai dari variasi reduksi ini menunjukkan bahwa hasil *fitting* pengolahan sudah akurat. Varian reduksi ini ditentukan oleh besar *filtering* yang dilakukan dalam proses inversi.

Selain proses inversi ini, ketidakcocokan kurva dipengaruhi oleh sifat elastik dan tak elastik dari medium yang dilewati oleh gelombang sumber gempa [8]. Fungsi Green menggambarkan sinyal yang akan terekam oleh seismograf sehingga dari Fungsi Green ini didapatkan sebuah model dari sinyal. Dari model ini diperbandingkan dengan hasil rekaman seismogram sebenarnya. Dari hasil perbandingan ini dapat diketahui ketidakcocokannya.

Tabel 3.
Perbandingan *Beach Ball* Penelitian dengan Katalog

Event	Penelitian	USGS	IRIS
01-05-2014	 <i>Reverse fault</i>	 <i>Reverse fault</i>	 <i>Reverse fault</i>
01-12-2013	 <i>Dip slip</i>	 <i>Dip slip</i>	 <i>Reverse fault</i>
02-07-2013	 <i>Strike slip</i>	 <i>Strike slip</i>	 <i>Strike slip</i>
21-01-2013	 <i>Strike slip</i>	 <i>Strike slip</i>	 <i>Strike slip</i>
10-01-2013	 <i>Reverse fault</i>	 <i>Dip slip</i>	 <i>Reverse fault</i>



Gambar 4. Posisi Beach Ball Menggambarkan Posisi Epicenter dengan Besar Beach Ball Bervariasi yang Ditentukan oleh Besar Momen Tensor Gempa (GMT).

Bentuk *focal mechanism* dari masing-masing *event* menunjukkan pola bidang sesar *dip slip fault* dan beberapa *strike slip fault*. Bentuk pola ini dipengaruhi oleh kondisi geologi regional Sumatera Utara. Di wilayah Sumatera Utara terdapat tiga sistem sesar, SFZ (*Sumatran Fault Zone*), sesar Mentawai, dan zona subduksi

Penggambaran posisi beach ball di atas menunjukan besar momen tensornya pula. Pola bidang sesar yang terbentuk di daerah sekitar zona subduksi adalah *dip slip* dengan jenis *vertical slip* dan *reverse fault*, sedangkan di daerah sekitar bukit barisan adalah jenis *strike slip*. Hal ini dapat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya bahwa untuk lokasi yang berada pada zona subduksi mempunyai pola bidang sesar *dip slip* yang mempunyai pengaruh lebih besar. Sieh dan Natawidjaya mengatakan bahwa gerakan sesar yang ada di Sesar Mentawai mempunyai pola bidang sesar bervariasi mulai dari *normal fault*, *strike slip* dan *reverse fault*. Untuk daerah di sekitar patahan Sumatra adalah berpola *strike slip*^[2]. Rangkaian gempa yang terjadi di Sumatra umumnya berada di dekat zona batas konvergen antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia yang bergerak 60 mm/tahun^[3]. Batas lempeng yang konvergen pada dua lempeng yang rigid antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia menimbulkan pola bidang sesarnya berbentuk *dip slip* yang terjadi di sepanjang zona subduksi Sumatera (*megathrust*).

Tabel 4.

Besar Panjang, Lebar, Luas, dan Slip Sesar dari Masing-Masing *Event*

<i>Event</i>	M_W	L(km)	W(km)	S(km ²)	\bar{U} (m)
01-05 2014	5.9	11.35	15.81	179.47	0.05
01-12-2013	6.3	18.84	21.04	396.28	0.22
02-07-2013	6.2	19.91	8.18	162.93	0.30
21-01-2013	6	17.38	7.76	134.90	0.26
10-01-2013	5.6	7.76	12.76	99.08	0.04
25-07-2012	6.6	27.54	26.06	717.79	0.35

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan Pola bidang sesar gempa yang terjadi di wilayah Sumatera Utara adalah dominan sesar *dip slip* jenis vertikal dan *reverse fault* di zona subduksi dan *strike slip* di sekitar patahan Sumatra. Besar momen tensor untuk masing-masing komponennya dari 6 *event* gempa di Sumatera Utara pada tahun 2012-2014 mempunyai rentang $M_{11} = 2,080 \exp 17$ sampai $1,040 \exp 18$, $M_{22} = 1,283 \exp 17$ sampai $1,310 \exp 18$, $M_{33} = 6,400 \exp 16$ sampai $6,580 \exp 17$, $M_{31} = 8,450 \exp 16$ sampai $7,140 \exp 18$, $M_{32} = 5,700 \exp 16$ sampai $7,405 \exp 18$, $M_{12} = 9,790 \exp 16$ sampai $1.045 \exp 18$. Besar *slip* dari *event* gempa di Sumatera Utara pada gempa di Sumatera Utara *event* 01-05-2014 menghasilkan *slip* sebesar 0,05 m. *Event* 01-12-2013 menghasilkan *slip* sebesar 0,22 m. *Event* 02-07-2013 menghasilkan *slip* sebesar 0,30 m. *Event* pada 21-01-2013 menghasilkan *slip* sebesar 0,26 m. *Event* pada 10-01-2013 menghasilkan *slip* sebesar 0,04 m. *Event* pada 25-07-2012 menghasilkan *slip* sebesar 0,35 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Sanosa, S.U atas bimbingannya selama penulis melakukan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hamilton, Warren. 1997. *Tectonic of the Indonesian Region*. Washington, D.C : U.S Government Printing Office.
- [2] Sieh, Kerry dan Danny Natawidjaja. 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia*. Journal of Geophysical Research, vol. 105, No. B12, pages 28, 295-28,326.
- [3] Madlazim. 2011. *Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Rupture Gempa Bumi di Sumatera serta Kemungkinan Penerapannya untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami*. Disertasi Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
- [4] Hanks, Thomas C. dan Hiroo Kanamori. 1997. *Moment magnitude scale*. Journal of Geophysical Research 84 (B5): 2348–2350. Retrieved 2007-10-06.
- [5] Wells, D.L., and Coppersmith, K.J. 1994. *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements*: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974–1002.
- [6] Papazachos, C.B., and Karakaisis, G.F., 2004. *Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes*. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXVI. Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004th.

- [7] Sokos, Efthimios N, Jiri Zahrandik. 2008. *ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data*. Computers and Geoscience 34 967-977.
- [8] Steith, Stein. Michael Wyssession. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Oxford : Blackwell Publishing Ltd.